



02

해안구조물의 전기방식시설 적용 및 유지관리

Application and Maintenance of Cathodic Protection Systems for Corrosion Control of Steel under Marine Environments

김유식 Yu-Sik Kim
한국도로공사 구조물처
구조물처장

이춘혁 Choon-Hyuk Lee
한국도로공사 구조물처
구조물안전팀장

정윤영 Oun-Young Joung
한국도로공사 구조물처
구조물안전차장

김홍삼 Hong-Sam Kim
한국도로공사 도로교통연구원
책임연구원

1. 머리말

한국도로공사는 해안 구조물(해안선으로부터 250 m 이내의 교량 또는 해수와 강물이 교차하는 지역의 교량)에 대한 예방적 유지관리 차원에서 염해로 인한 성능저하가 발생할 가능성이 높거나 이미 염해에 의한 손상이 발생한 교량을 대상으로 유지관리 매뉴얼을 작성하여 적극적인 내염대책을 적용하고 있다. 특히, 전기방식(Cathodic protection) 공법은 지중 또는 해수 중의 강재를 보호하기 위해 광범위하게 사용되고 있다. 또한 미연방도로청(FHWA)은 콘크리트 중 철근부식을 억제할 수 있는 유일한 방법¹⁾으로 언급한 바 있어 해상 콘크리트 구조물에 적극적인 방식공법으로 적용 사례가 많다.

본 고에서는 한국도로공사에서 관리 중인 교량구조물 중 해안가에 위치하여 강재의 부식방지를 위해 적용 중인 전기방식시설의 설치현황 및 유지관리 기준 등에 대해 소개하고자 한다.

2. 전기방식의 개념 및 시설 현황

2.1 전기방식 시설의 개요

수용액 중에 강재는 전기화학적 반응에 의해 부식이 진행되며, 강재가 강알칼리성 환경의 콘크리트 중에 매입되어 있을 때는 부식으로부터 보호된다. 강재를 둘러싼 콘크리트의 중성화로 알칼리성을 상실하거나 해양 환경 또는 제설제의 염화물 침투로 인해 철근 또는 PS강재가 부식된다^{1,2)}. 이를 전기화학적으로 정지시키기 위해 강재 또는 철근에 인위적으로 방식전류를 가하여 애노드와 캐소드에 형성된 전위차를 소멸시킴으로써 방식을 달성하게 된다. 이때 <그림 1>과 같이 방식전류를 가하는 방법에 따라 별도의 정류기(전원 공급 장치)에 의한 경우는 외부전원법이라고 하고, 방식전류의 공급이 희생양극재(아연 등) 자체의 부식전류인 경우는 희생양극법으로 분류된다^{2, 3)}.

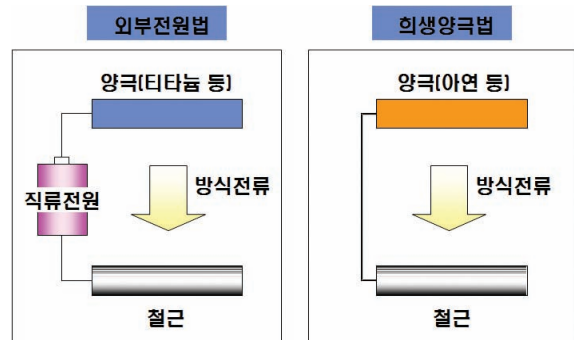


그림 1. 전기방식공법의 분류 방법

2.2 전기방식시설 적용 현황 및 시공 순서

한국도로공사의 관리교량 8,267개소 가운데 전기방식시설이 설치되어 있는 교량은 모두 12개 교량이다. 전기방식시설의 최초 적용은 1981년 준공된 남해 제2지선 상의 조만강교를 시작으로 5개 교량 기초하부의 강관파일에 적용되었다. 한편, 해수접촉 부위의 교각하부 콘크리트 중 철근부식 방지를 위한 전기방식의 적용은 2003년 소래교에 최초 적용 후 5개 교량이 적용 되었다. 이들은 모두 외부전원 방식이 적용되었고, 희생양극에 의한 콘크리트 중 철근의 전기방식은 2007년 수어천교에 유일하게 적용되어 운영중이다.

콘크리트 교각하부에 대한 외부전원법의 개략적인 시공순서는 <사진 1>과 같이 표면처리 및 열화부 콘크리트 제거, 기준전극 및 단자설치, 양극재 설치, 거푸집 설치, 모르타르 주입, 배선 및 배관작업, 정류기 설치 후 통전시험 등으로 이루어진다.

3. 전기방식시설의 유지관리 방안

3.1 유지관리의 목적 및 시행

전기방식 시설의 유지관리는 전기방식공사에 의한 강관파일 또는 콘크리트 중의 철근부식 억제 효과를 양호하게 유지시키기 위해 실시한다. 장기적인 유지관리 계획을 기본으로 정기적인 점검을 통해 강관파일 또는 콘크리트 구조물(또는 부재)의 열화 상태를 파악하고, 필요하다고 판단될 때는 보수를 행하는 것이 목적이다. 유지관리는 전기방식 시설의 방식효과를 유지하기 위해 <그림 2>과 같은 순서에 맞춰 시행 한다.



사진 1. 외부 전원법에 의한 전기방식의 시공 순서

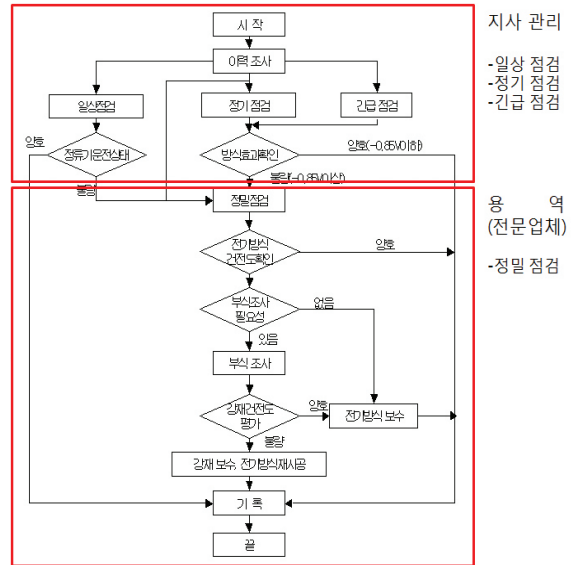


그림 2. 전기방식시설의 유지관리 순서

3.2 점검의 종류와 항목

주기적인 점검으로 일상점검, 정기점검, 정밀점검을 행하며, 일상, 정기점검 시 이상이 발생되었다고 판단되었을 경우 이상 발생항목에 대하여 정밀점검을 실시한다. 일상, 정기 및 정밀점검 등의 주기적인 점검 이외에도 기상 이변(폭우, 낙뢰 등)이나 선박의 충돌, 직류회로의 변동(피방식체의 증감, 양극의 증감 등), 방식시설 주변의 공사가 있을 시 등 필요하다고 인정되는 경우 수시로 긴급점검을 실시하며, 점검빈도는 <표 1>과 같다.

일상점검은 정류기에 전원이 공급되는지 여부 정도만 확인하는 것으로, 가능한 매일 점검하는 것이 바람직하나 현장여건상 곤란할 경우 최소한 1개월에 1회 이상 점검을 실시하도록 해야 한다. 다만, 전기방식시설 설치 후 또는 전반적인 보수 후 최초 1년간은 4회/년 정기점검 수준으로 점검을 실시하여 초기치를 설정하며, 이후 정기점검은 전기방식시설의 방식효과를 확인하기 위한 것으로 최소한 1년에 2회 이상 실시, 정밀점검

표 1. 전기방식 시설의 점검 빈도

구분	점검빈도
일상점검	1회/1개월 이상
정기점검	2회/년
정밀점검	1회/1~3년
긴급점검	폭우, 낙뢰, 태풍 등 필요시
	결함 발견 등 필요시

검은 1~3년에 1회의 빈도로 실시하도록 한다. 한편, 정류기 및 방식전위에 대한 모니터링 시스템이 설치되어 사무실에서 전압, 전류 및 방식전위 등을 확인할 수 있는 경우는 일상점검을 생략할 수 있다.

긴급점검의 점검항목은 정기점검과 동일한 수준으로 하여 실시하고 필요에 따라 점검항목을 추가하거나 생략할 수 있다. 이를 전기방식 공법별로 정리한 것이 <표 2>이다.

4. 방식효과의 확인 및 건전도 평가

4.1 방식효과 확인을 위한 관리 기준

강관파일은 방식하고자 하는 피방식체의 통전전위를 측정하여 측정전위가 포화황산동 기준전극으로 -0.85V 이하일 경우 방식상태에 있다고 판단할 수 있다^{4~6)}. 한편, 콘크리트 중 철근의 경우는 복극량을 기준으로 판단한다. 이때 복극량은 분극상태(분극전위)로부터 전류 공급을 정지시키면 원래의 전위상태(자연전위)로 되돌아 오는데 그 차이를 말한다. 콘크리트 중의 철근에 대한 방식효과는 4시간 복극량이 100mV 이상이거나 통전전위가 -0.85V ~ -1.1V 이내이면 복극량을 확인할 필요 없이 방식상태에 있는 것으로 판단한다^{2,5,6)}. 소정의 방식전위 또는 복극량이 확보되지 않을 경우 외부전원법의 경우는 전류밀도를 조정하거나 희생양극재를 재설치 하는 등의 조치를 취해야 한다.

표 2. 전기방식 공법별 점검 항목

구분	강관파일 (외부전원법)	콘크리트 중 철근방식	
		외부전원법	희생양극법
일상 점검	• 전원 공급 장치 • 통전전위	• 전원 공급 장치 • 통전전위	• 통전전위(대표 구간)
정기 점검	• 전원 공급 장치 • 통전전위 • 단자함 손상여부	• 전원 공급 장치 • 통전전위 • 방식거푸집 변형 및 손상	• 통전전위 및 전류(대표구간) • 방식거푸집 변형 및 손상
정밀 점검	• 전원 공급 장치 • 통전전위 • 단자함 손상여부 • 배선·배관	• 전원 공급 장치 • 통전전위, 복극량 • 방식거푸집 변형 및 손상 • 배선·배관 점검 • 필요시 외부전극 전위측정	• 방식대상 부재 • 통전전위, 복극량(전체) • 방식거푸집 변형 및 손상
긴급 점검	정기점검에 준하여 실시 ※ 태풍, 낙뢰 등으로 주요 손상 발생시		

표 3. 전기방식시설의 건전도 평가기준 및 대책

구분	전기방식 시설의 주요 장치		방식 기준	조치 및 대책
	전원 공급 장치	양극 장치	방식 전위 (복극량)	
A	정상 작동	이상무	기준 만족	-
B	정상 작동	이상무	기준 미달	전류밀도 조정
C	정상 작동	경미한 손상 (일부 균열 및 들뜸)	기준 만족	지속 관찰
			기준 미달	원인규명 후 조치
D	정상 작동	광범위한 손상 (균열, 들뜸, 녹발생)	기준 만족	점검 강화
			기준 미달	양극장치 보수
E	작동 불능	이상무	기준 미달	전원 공급 장치 보수
		광범위한 손상 (균열, 들뜸, 녹발생)	기준 미달	전반적인 보수

4.2 전기방식 시설의 점검결과 및 건전도 평가

점검 결과로부터 전원 공급 장치(정류기)의 작동상황과 양극장치의 손상 유무 및 전위측정 결과를 토대로 방식시설에 대한 건전도 평가를 실시할 필요가 있다. 특히, 전기방식시설은 전원 공급 장치(정류기)의 운전상황 및 점검결과가 설계치 또는 허용치를 만족하는지를 확인하는 것이 중요하다.

전기방식시설의 전원 공급 장치(정류기)의 작동상황과 양극장치의 손상 유무 및 전위측정 결과를 토대로 방식시설에 대한 건전도 평가를 <표 3>에 의거하여 실시한다. 만일, 설정된 방식 기준을 만족하지 못할 경우에는 방식전류를 조정해야만 한다. 일반적으로 방식에 필요한 방식전류밀도는 계절변화, 통전시간이 경과

함에 따라 변화하므로 분극시험결과로부터 얻은 방식전류밀도로는 과부족일 경우가 생기기도 한다. 그러므로 전위 변화량을 측정해 설정한 방식기준을 만족하도록 전류를 조정해야 한다.

부분적으로 전위가 방식관리 전위보다 클 경우 방식상태가 부분적으로 유지되지 못할 가능성이 있으므로 정밀점검을 통해 전위의 측정결과를 참고로 그 원인을 규명하고, 방식상태를 회복시키기 위한 보수대책을 검토해야 한다. 콘크리트 구조물의 전기방식의 경우 양극장치부의 손상(균열, 들

뜸 등)에 의해 원활한 방식전류가 공급되지 못하면 보수조치가 필요하다. 전기방식 기능을 잃어버렸다고 판정되는 원인으로는 전원차단, 브레이커 차단, 장치 내부의 회로 고장, 단자 열화, 기준전극 이상, 양극시스템의 열화 및 손상 등이 있다. 이때에는 정밀점검을 실시해 그 원인을 찾아 조치를 취해야 한다.

5. 맺음말

전기방식공법은 미국, 일본 및 유럽 등 선진국에서 염화물의 영향을 받은 콘크리트 구조물 중 철근부식을 억제하기 위하여 많은 연구와 사례보고가 있으나 우리나라의 경우 상대적으로 관련 연구는 물론 시공실적과 유지관리 기술이 아직 정착되지 않은 것으로 판단된다. 전기방식은 인위적으로 방식전류를 가하여 강재의 부식을 정지시킬 수 있는 유일한 방법으로, 방식전류의 원활한 공급과 방식기준의 만족이 무엇보다 중요하다. 전기방식시설의 설치비용이 고가인 만큼 그에 상응하는 관리와 점검으로 전기방식 시설의 설치 목적을 달성하여 구조물의 수명연장에 기여할 수 있도록 관련 시설에 대한 점검과 유지관리가 철저히 시행되어야 할 것이다. □

담당 편집위원 : 이승창(삼성물산(주)건설부문) sc88.lee@samsung.com

참고문헌

1. Gee Kin Chou, "Cathodic protection: an emerging solution to the rebar corrosion problem", Concrete Construction, June, 1984.
2. 문한영, 김성수, 김홍삼, '콘크리트 중의 철근부식 억제를 위한 외부전원법의 효과', 한국콘크리트학회논문집, Vol. 11, No. 2, 1999, pp. 221 ~ 230.
3. 김기준, 이명훈, 문경만, '콘크리트 구조물의 전기방식 원리와 적용', 한국콘크리트학회지, Vol. 18, No. 5, 2006, pp. 23 ~ 33.
4. J. Bennet & T. Turk, Criteria for the Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements, SHRP-S-359, SHRP, US, 1994.
5. M. Funahashi, "Technical Review of 100mV Polarization Shift Criterion for Reinforcing Steel in Concrete", Corrosion, 1991.
6. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE Standard RP0169-96, 1996.



김유식 처장은 한양대학교에서 석사학위를 취득하였고, 1983년 한국도로공사에 입사하여 ITS처장, 충청지역본부장 등을 역임하였다. 현재 고속도로 구조물 유지관리를 총괄하는 구조물처장으로 재직 중이다.
kimys@ex.co.kr



이춘혁 팀장은 인하대학교에서 학사학위를 취득하였고, 토목시공기술사 및 국제기술사이며, 1990년 한국도로공사에 입사하여 음성제천건설사업단 공사관리2팀장 등을 역임하였다. 현재 구조물 안전관리를 총괄하는 구조물처 안전관리팀장으로 재직 중이다.
choon@ex.co.kr



정운영 차장은 아주대학교에서 석사학위를 취득하였고, 1992년 한국도로공사에 입사하여 본사 건설 및 유지관리 부서 등에서 업무를 수행하였다. 현재 구조물 안전관리를 주관하는 구조물처 구조물안전차장으로 재직 중이다.
jung77@ex.co.kr



김홍삼 박사는 2001년 한양대학교 토목공학과에서 박사학위를 취득하였고, 한국도로공사 도로교통연구원에서 콘크리트 내구성 분야를 연구하고 있다. 우리학회의 내구성위원회 위원장 및 특수환경위원회 위원으로 활동하고 있다.
hskim68@ex.co.kr